

PUB-NO: JP02007163209A
DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 2007163209 A
TITLE: NUCLEAR REACTOR OUTPUT DISTRIBUTION MEASURING SYSTEM AND NUCLEAR REACTOR
OUTPUT DISTRIBUTION MEASURING METHOD

PUBN-DATE: June 28, 2007

INVENTOR-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
YAMAMOTO, NAOKI	

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
CHUGOKU ELECTRIC POWER CO INC:THE	

APPL-NO: JP2005357520
APPL-DATE: December 12, 2005

INT-CL(IPCR):

TYPE	IPC	DATE	IPC-OLD
IPCP	G21C17/10	20060101	G21C017/10
IPFC	G21C17/108	20060101	G21C017/108

ABSTRACT:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a nuclear reactor output distribution measuring system for full-time measurement having a simple and easy-to-replace structure and a nuclear reactor output distribution measuring method.

SOLUTION: This nuclear reactor output distribution measuring system for measuring output distribution inside a reactor core stored in a nuclear reactor pressure vessel is equipped inside the pressure vessel with: a plurality of heating units provided at a plurality of longitudinal positions of fuel rods for generating heat according to the dose of gamma rays generated owing to nuclear fission; and optical fiber provided at positions with heat from the heating units transmitted thereto. This system is equipped outside a nuclear reactor containment vessel for therein storing the pressure vessel with a temperature distribution measuring part for finding temperature distribution at a plurality of positions as information serving as a basis for finding output distribution based on Raman scatter light in the optical fiber.

COPYRIGHT: (C)2007,JPO&INPIT

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号
特開2007-163209
(P2007-163209A)

(43) 公開日 平成19年6月28日(2007.6.28)

(51) Int. Cl.	F 1	テーマコード (参考)
G 2 1 C 17/10 (2006.01)	G 2 1 C 17/10 L	2 G 0 7 5
G 2 1 C 17/108 (2006.01)	G 2 1 C 17/10 G	

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号	特願2005-357520 (P2005-357520)	(71) 出願人	000211307 中国電力株式会社 広島県広島市中区小町4番33号
(22) 出願日	平成17年12月12日(2005.12.12)	(74) 代理人	110000176 一色国際特許業務法人
		(72) 発明者	山本 直樹 広島県広島市中区小町4番33号 中国電力株式会社内
		Fターム(参考)	2G075 DA01 FA20 FB03 FC14 GA02

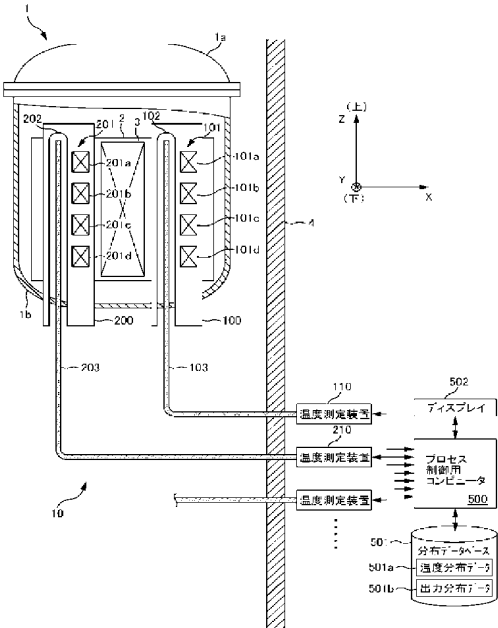
(54) 【発明の名称】 原子炉出力分布測定システム及び原子炉出力分布測定方法

(57) 【要約】

【課題】 簡単且つ交換が容易な構成を有する常時測定用の原子炉出力分布測定システム及び原子炉出力分布測定方法を提供する。

【解決手段】 原子炉压力容器に格納された炉心の内部における出力分布を測定する原子炉出力分布測定システムであって、燃料棒の長手方向の複数の位置に設けられる、核分裂に起因して発生するガンマ線の線量に応じて発熱する複数の発熱体と、複数の発熱体からの熱が伝達される位置に設けられる光ファイバと、を原子炉压力容器の内部に備え、光ファイバ内のラマン散乱光に基づいて、出力分布を求める際の基となる情報として、複数の位置における温度分布を求める温度分布測定部、を原子炉压力容器を格納する原子炉格納容器の外部に備えてなる。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

原子炉圧力容器に格納された炉心の内部における出力分布を測定する原子炉出力分布測定システムであって、

燃料棒の長手方向の複数の位置に設けられる、核分裂に起因して発生するガンマ線の線量に応じて発熱する複数の発熱体と、前記複数の発熱体からの熱が伝達される位置に設けられる光ファイバと、を前記原子炉圧力容器の内部に備え、

前記光ファイバ内のラマン散乱光に基づいて、前記出力分布を求める際の基となる情報として、前記複数の位置における温度分布を求める温度分布測定部、を前記原子炉圧力容器を格納する原子炉格納容器の外部に備えたことを特徴とする原子炉出力分布測定システム。

10

【請求項 2】

前記出力分布は、前記温度分布であることを特徴とする請求項 1 に記載の原子炉出力分布測定システム。

【請求項 3】

前記温度分布測定部で求められた前記温度分布を、当該温度分布に相関のある前記出力分布に変換する出力分布変換部、を更に前記原子炉格納容器の外部に備えたことを特徴とする請求項 1 に記載の原子炉出力分布測定システム。

【請求項 4】

前記複数の発熱体は、熱伝導物質であることを特徴とする請求項 1 乃至 3 の何れかに記載の原子炉出力分布測定システム。

20

【請求項 5】

原子炉圧力容器に格納された炉心の内部における出力分布を測定する原子炉出力分布測定システムの原子炉出力分布測定方法であって、

燃料棒の長手方向の複数の位置に設けられる、核分裂に起因して発生するガンマ線の線量に応じて発熱する複数の発熱体と、前記複数の発熱体からの熱が伝達される位置に設けられる光ファイバと、を前記原子炉圧力容器の内部に備え、

前記光ファイバ内のラマン散乱光に基づいて、前記出力分布を求める際の基となる情報として、前記複数の位置における温度分布を、前記原子炉圧力容器を格納する原子炉格納容器の外部にて求めることを特徴とする原子炉出力分布測定システムの原子炉出力分布測定方法。

30

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、原子力発電プラント等に用いられる原子炉の炉心の内部における出力分布を測定する原子炉出力分布測定システム及び原子炉出力分布測定方法に関する。

【背景技術】

【0002】

一般に、発電用原子炉は、ウラン等の核燃料物質の核分裂連鎖反応を制御しつつこれを持続させる装置である。例えば複数の棒形状をなすウラン燃料は、原子炉の炉心を構成し、制御棒及び冷却材（例えば水）とともに原子炉圧力容器に収納されている。放射線上の安全性を確保するため、この原子炉圧力容器は、原子炉格納容器の内部に格納され、更に原子炉格納容器は原子炉建物の内部に設置される。原子力発電プラントでは、制御棒で制御されつつ進行する核分裂連鎖反応により発生する熱が、炉心の内部から冷却材を媒介して炉心の外部に取り出され、原子炉建物の外部に設置されたタービンまで送出され、これと直結する発電機を回して発電するようになっている。具体的には、冷却材としての例えば水が炉心の内部で加熱されて水蒸気となり、タービンに供給される。

40

【0003】

一方、電力系統では、発電機の出力を安定させることにより、系統周波数を安定に維持

50

している。前述した原理により、発電機の出力の安定化は、炉心内の核分裂連鎖反応により発生する熱（熱出力）の安定化にかかっている。そして、この安定化のためには、例えば前述した制御棒を適切に移動させて核燃料物質を保護しなければならない。ところで、制御棒の移動は、熱出力の総量のみならず、炉心の内部における熱出力の空間分布を測定しつつ実施するものとされている。一般に、この熱出力の空間分布は、出力分布と称され、炉心性能の1つとされている。つまり、電力系統における系統周波数を安定に維持するためには、原子力発電プラントにおける原子炉の炉心性能を管理することが必須となる。

【0004】

前述した熱出力は、炉心の内部の核分裂数に比例するとされているため、原子炉の運転時に炉心の内部の核分裂により生じる中性子束を直接測定し、この中性子束に基づいて熱出力を求めることができる。そこで、例えば沸騰水型原子炉の炉心の内部には、出力分布を求めるための局所出力領域モニタ（LPRM：Local Power Range Monitor）として、核分裂電離箱といった核分裂型の中性子検出器が複数設置されている（例えば、特許文献1及び特許文献2参照。）。ここで、沸騰水型原子炉とは、前述した冷却材が水であって、原子炉圧力容器の内部でこれを水蒸気とし、タービンに送出するタイプの原子炉である。例えば特許文献1の開示によれば、炉心の内部の上下方向（即ち、燃料棒の長手方向）に中性子検出器が複数且つ独立して設置され、個々の中性子検出器毎に局所領域における中性子束が測定される。これにより、炉心の内部の出力分布を測定でき、よって炉心性能を管理できる。

【特許文献1】特開2004-20250号公報

【特許文献2】特開2002-116283号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

ところで、前述した特許文献1及び特許文献2に開示された核分裂型の中性子検出器は、使用時間の経過に伴って検出感度が劣化するため、定期的な較正が必要であるとされている。特に、前述した出力分布の測定では、複数の中性子検出器による測定結果の相対的な関係を求めなければならないため較正が必須となる。このような較正手段として、（1）移動式炉心内計装（TIP：Traversing In-Core Probe）（前述した特許文献1）、又は（2）ガンマサーモメータ（前述した特許文献2）が開示されている。

【0006】

移動式炉心内計装とは、炉心の内部の上下方向に複数固定された中性子検出器の近傍にこれらと平行して案内管を設け、較正用のもう1つの中性子検出器をこの案内管内で上下方向に移動可能とした較正手段である。この移動可能な中性子検出器の測定結果を基準として、固定された複数の中性子検出器のそれぞれについてゲイン調整を行う。しかしながら、このような移動のためには移動機構が必要となるため構成が複雑となり、結局高コストにつながるという問題がある。

【0007】

一方、ガンマサーモメータとは、核分裂連鎖反応の過程で発生するガンマ線の線量を、当該ガンマ線が発熱体に吸収されて発生する熱量を介して測定するガンマ線検出器の較正手段である。このガンマサーモメータは、炉心の内部の上下方向に複数固定された中性子検出器の近傍にこれらと平行して設けられる棒状の発熱体であり、この固定された複数の中性子検出器と対向する位置に複数の熱電対を離散的に備えたものである。ガンマ線による発熱体の温度と核分裂の度合いとの間の所定の関係を前提に、上下方向の複数の熱電対による温度の測定結果と対比することにより、固定された複数の中性子検出器のそれぞれについてゲイン調整を行う。しかしながら、ガンマサーモメータは、これを構成する複数の熱電対のそれぞれが配線を有する上に、これら熱電対自体の較正手段たるヒータ線を更に備えている。このため、検出器として嵩高いものとなるため、原子炉圧力容器の内部のスペースを占有する上に、交換作業も被曝を伴う困難なものとなる。

【0008】

10

20

30

40

50

また、移動式炉心内計装及びガンマサーモメータの何れも、単体でもって常時出力分布を測定することは困難であるとされている。つまり、移動式炉心内計装では、中性子検出器は移動に伴って劣化するために頻繁に移動できず、よって単体での常時測定は現実的ではない。また、ガンマサーモメータでは、熱電対自体の較正が非効率であるが故に単体での常時測定は困難である。つまり、何れについても、常時測定のためには、例えば前述した中性子検出器からなる局所出力領域モニタとともに用いる必要が生じ、結果的に複雑な構成となってしまう。

【0009】

本発明は、かかる課題に鑑みてなされたものであり、その目的とするところは、簡単且つ交換が容易な構成を有する常時測定用の原子炉出力分布測定システム及び原子炉出力分布測定方法を提供することにある。

10

【課題を解決するための手段】

【0010】

前記課題を解決するための発明は、原子炉压力容器に格納された炉心の内部における出力分布を測定する原子炉出力分布測定システムであって、燃料棒の長手方向の複数の位置に設けられる、核分裂に起因して発生するガンマ線の線量に応じて発熱する複数の発熱体と、前記複数の発熱体からの熱が伝達される位置に設けられる光ファイバと、を前記原子炉压力容器の内部に備え、前記光ファイバ内のラマン散乱光に基づいて、前記出力分布を求める際の基となる情報として、前記複数の位置における温度分布を求める温度分布測定部、を前記原子炉压力容器を格納する原子炉格納容器の外部に備えてなる。

20

【0011】

この原子炉出力分布測定システムによれば、温度分布測定部は、燃料棒の長手方向の複数の位置のそれぞれに設けられた発熱体の温度を、例えば1本の光ファイバ内のラマン散乱光に基づいて測定できる。もし各発熱体の温度がそれぞれの位置における熱出力に比例する核分裂の度合いに更に比例するガンマ線の線量に応じたものであれば、各位置の温度の相対値は、炉心の内部における出力分布に相当することになる。そこで、燃料棒の近傍にこれと平行に設けられれば、1本の光ファイバで、この燃料棒の長手方向の出力分布が測定可能となる。この際、例えば従来の複数の中性子検出器等は必要ない。

【0012】

また、一般に、ラマン散乱光に基づいて光ファイバの軸方向の温度分布を測定する際、例えばパルス光の入射及び散乱光の受光のためのアクセスは当該光ファイバの一端部のみからでよいとされている。そこで、例えば、炉心の内部に設けられた光ファイバの一端部を、原子炉格納容器の外部まで伸展させて温度分布測定部に接続することにより、原子炉压力容器の内部の占有スペースを抑制できる。このような構成上、原子炉压力容器に対する光ファイバの設置及び取り外しの作業も容易である。

30

【0013】

更に、光ファイバは、連続体であるためそれ自体の較正等を必要とせず、ラマン散乱光の測定に常時使用できる。発熱体は、例えば従来の複数の中性子検出器の近傍、或いはこの中性子検出器に替えて、炉心の内部に複数固定しておけば、常時使用できる。よって、炉心の内部の出力分布が常時測定可能となる。

40

【0014】

以上から、簡単且つ交換が容易な構成を有する常時測定用の原子炉出力分布測定システムが提供されたことになる。

【0015】

また、かかる原子炉出力分布測定システムにおいて、前記出力分布は、前記温度分布であることとしてもよい。

この原子炉出力分布測定システムによれば、温度分布測定部により求められた複数の位置における温度分布が、そのまま当該複数の位置における出力分布となる。これにより、炉心の内部における出力分布が効率的に測定されることになる。

【0016】

50

また、かかる原子炉出力分布測定システムにおいて、前記温度分布測定部で求められた前記温度分布を、当該温度分布に相関のある前記出力分布に変換する出力分布変換部、を更に前記原子炉格納容器の外部に備えてもよい。

この原子炉出力分布測定システムによれば、温度分布測定部により求められた複数の位置における温度分布が、出力分布変換部により、例えば温度と出力との所定の関係に基づいて、複数の位置における出力分布に変換される。これにより、前記所定の関係を用いれば、炉心の内部における出力分布が効率的に測定されることになる。

【0017】

また、かかる原子炉出力分布測定システムにおいて、前記複数の発熱体は、熱伝導物質であることとしてもよい。

10

この原子炉出力分布測定システムによれば、非金属に比べてガンマ線の阻止能が高くその運動エネルギーを熱に変換する効率が高い金属（熱伝導物質、例えば鉄）により、出力分布を効果的に測定できる。また、鉄は金属の中では安価なため、原子炉出力分布測定システムはより低コストなものとなる。

【0018】

また、前記課題を解決するための発明は、原子炉圧力容器に格納された炉心の内部における出力分布を測定する原子炉出力分布測定システムの原子炉出力分布測定方法であって、燃料棒の長手方向の複数の位置に設けられる、核分裂に起因して発生するガンマ線の線量に応じて発熱する複数の発熱体と、前記複数の発熱体からの熱が伝達される位置に設けられる光ファイバと、を前記原子炉圧力容器の内部に備え、前記光ファイバ内のラマン散乱光に基づいて、前記出力分布を求める際の基となる情報として、前記複数の位置における温度分布を、前記原子炉圧力容器を格納する原子炉格納容器の外部にて求めてなる。

20

【発明の効果】

【0019】

簡単且つ交換が容易な構成を有する常時測定用の原子炉出力分布測定システム及び原子炉出力分布測定方法が提供される。

【発明を実施するための最良の形態】

【0020】

=== 原子炉出力分布測定システムの構成 ===

図1を参照しつつ、本実施の形態の原子炉出力分布測定システム10の構成例について説明する。同図は、本実施の形態の原子炉出力分布測定システム10及びその周辺部分の構成例を示す模式図である。尚、本実施の形態の原子炉出力分布測定システム10は、沸騰水型原子炉に設けられるシステムであるが、これに限定されるものではなく、例えば加圧水型原子炉に設けられるシステムであってもよい。

30

【0021】

本実施の形態の沸騰水型原子炉の炉心2は、複数のペレット形状をなすウラン酸化物からなる燃料棒を複数本束ねて構成された燃料集合体3が更に複数ユニット集まって構成されたものである。この炉心2は、制御棒（不図示）及び一次冷却材としての水（不図示）等の炉内構造物とともに鋼製の原子炉圧力容器1に収納されている。この原子炉圧力容器1は、異常時の放射線上の安全性を確保するため、鋼鉄製又は鉄筋コンクリート製の原子炉格納容器4に格納されている。異常時には、この原子炉格納容器4を隔ててその内外の放射線物質濃度が異なり、つまり、原子炉格納容器4は放射性物質が外部に放出されるのを防ぐ機能を果たすことになる。

40

【0022】

図1に例示されるように、本実施の形態の原子炉出力分布測定システム10は、発熱体101、201と、光ファイバ103、203と、温度測定装置110、210と、プロセス制御用コンピュータ500とを備えて構成される。本実施の形態では、発熱体101、201と、光ファイバ103、203の主要部分とは、原子炉格納容器4の内部に設けられ、光ファイバ103、203の残りの部分と、温度測定装置110、210と、プロセス制御用コンピュータ500とは、原子炉格納容器4の外部に設けられる。尚、温度測

50

定装置 110、210 と、プロセス制御用コンピュータ 500 とは、更に例えば原子炉建物（不図示）の壁により隔てられていてもよいし、或いは、2 つがともに原子炉建物（不図示）の外部に設置されていてもよい。

【0023】

<<<原子炉格納容器の内部の構成>>>

発熱体 101、201 は、燃料集合体 3 の上下方向（長手方向）に平行して複数個離散的に配置され、ガンマ線が照射されるとその線量に応じて発熱する材料である。一般に、炉心 2 の内部における質量数が 235 のウランの核分裂連鎖反応で発生するガンマ線の線量は、当該核分裂数、即ち熱出力に比例するとされている。本実施の形態の発熱体 101、201 はこの原理を用いるものであり、その温度により、当該発熱体 101、201 が位置する局所領域での核分裂連鎖反応による熱出力を検出するためのものである。具体的には、本実施の形態の発熱体 101、201 は、燃料棒を複数本束ねて構成された燃料集合体 3 の周囲の所定位置に例えば 4 つずつ配置されたストリングス 100、200 の中に固定されている。発熱体 101、201 の上下方向の総数及び離散度（又は密度）は、出力分布の測定精度に応じて決められる。つまり、発熱体 101、201 の上下方向の総数が多く、離散度が低い（又は密度が高い）ほど、測定精度は向上する。尚、図 1 の例示では、1 つの燃料集合体 3 に隣接して 2 つのストリングス 100、200 が設けられ、それぞれのストリングス 100、200 に 4 つずつの発熱体 101a、101b、101c、101d、201a、201b、201c、201d が配置されているが、これは単に図示の便宜上のことである。また、本実施の形態の発熱体 101、201 は鉄（熱伝導物質）を主材料とするものであるが、これに限定されるものではなく、例えばガンマ線の阻止能が高くその運動エネルギーを熱に変換する効率が低い材料であればいかなるものでもよい。このような性質を持つ材料としては、非金属よりも金属が好ましく、更に安価という点では鉄がより好ましい。

【0024】

光ファイバ 103 は、前述した上下方向に離散的に固定された発熱体 101a、101b、101c、101d の近傍にあってこれらと平行に配置され、可撓性を有するものであり、他の光ファイバ（光ファイバ 203 等）も同様である。ここで、「近傍」とは、各発熱体 101a、101b、101c、101d からの熱が伝達可能な位置を意味する。具体的には、本実施の形態の光ファイバ 103、203 は、前述したストリングス 100、200 中に更に設けられた管部（例えばドライチューブ）102、202 の中に原子炉圧力容器 1 の下部 1b から挿入され、この下部 1b にて固定されるものである。ストリングス 100、200 は原子炉圧力容器 1 の上部 1a から設置する必要がある一方、光ファイバ 103、203 は、可撓性を有し且つ簡単な構成であるが故に、原子炉圧力容器 1 の下部 1b からの設置及び取り外しが可能である。一方、例えば特開 2004-20250 号公報や特開 2002-116283 号公報等に記載されている従来の中性子検出器やガンマサーモメータ等は、その交換の際には原子炉圧力容器 1 の下部 1b で水の漏洩を伴う作業や、上部 1a での作業等が必要であった。従って、本実施の形態の光ファイバ 103、203 には、従来の場合と比較してその交換作業における被曝の低減が図れる上に、所謂定期検査のクリティカルにはならないという効果がある。尚、図 1 の例示では、光ファイバは 2 つであるが、これは単に図示の便宜上のことであり、本実施の形態の光ファイバは 1 つでもよいし、3 つ以上でもよい。

【0025】

尚、前述したストリングス 100、200 は、例えば局所出力領域モニタ（LPRM）としての中性子検出器の固定に用いられている従来ストリングスを利用してよい。また、前述した管部 102、202 は、この中性子検出器を校正するための従来の移動式炉心内計装（TIP）の案内管を利用してよい。つまり、例えば特開 2004-20250 号公報や特開 2002-116283 号公報等に記載されている従来システムの一部を再利用して、本実施の形態の原子炉出力分布測定システム 10 を低コストで実現できる。

【0026】

<<<原子炉格納容器の外部の構成>>>

温度測定装置110、210は、前述した光ファイバ103、203内のラマン散乱光に基づいて、当該光ファイバ103、203の軸方向の各位置での温度を測定する装置である。本実施の形態では、原子炉圧力容器1の下部1bから伸展された光ファイバ103、203の一端部は、更に原子炉格納容器4の外部まで伸展され、温度測定装置110、210にそれぞれ接続される。本実施の形態では、例えば複数の光ファイバ103、203には複数の温度測定装置110、210がそれぞれ対応しているため、後述するように、全光ファイバ103、203の軸方向の温度分布を略同時に測定可能となっている。

【0027】

プロセス制御用コンピュータ500は、前述した複数の温度測定装置110、210を統括制御して、前述した温度分布を測定させる機能を有する情報処理装置である。また、このプロセス制御用コンピュータ500は、前述した温度測定装置110、210により測定された各光ファイバ103、203の軸方向の温度分布を温度分布データ501aとして記憶する分布データベース501を備え、この温度分布データ501aに基づいて炉心2の内部における出力分布を求める機能を有する。この分布データベース501は、更に、求められた出力分布を出力分布データ501bとして記憶するものである。また、この出力分布データ501bの一部は、プロセス制御用コンピュータ500が備えるディスプレイ502に表示可能となっている。

【0028】

尚、本実施の形態では、1又は複数の温度測定装置110、210と、プロセス制御用コンピュータ500とが温度分布測定部を構成し、出力分布変換部はプロセス制御用コンピュータ500の一部からなるものである。

【0029】

<<<温度測定装置>>>

図2を参照しつつ、前述した温度測定装置110についてより詳細に説明する。同図は、本実施の形態の温度測定装置110の構成例を示すブロック図である。

【0030】

本実施の形態の温度測定装置110は、主として、光分波器111と、光源112a、112bと、受光器113、114と、A/Dコンバータ115、116と、制御部117とを備えて構成されている。

【0031】

光分波器111は、例えば後述するラマン散乱光のうちのストークス光及びアンチストークス光をそれぞれの波長に別個に分ける機能を有するものである。光源112a、112bは、光ファイバ103に入射するパルス光を発生するレーザ等である。本実施の形態では、パルス光の強度をより大きくするために2つの光源112a、112bを用いているが、これに限定されるものではなく、光源は例えば1つ又は3つ以上でもよい。受光器113、114は、ストークス光及びアンチストークス光をそれぞれ受光しその光強度を電気信号（アナログ信号）に変換する機能を有するものである。A/Dコンバータ115、116は、ストークス光及びアンチストークス光の光強度に相当するアナログ信号をデジタル信号に変換する機能を有するものである。

【0032】

制御部117は、後述するように、例えば2つの光源112a、112bに同時にトリガをかけて同時にパルス光を発生させ、後述する所定の時間刻み（ Δt ）毎に、2つのA/Dコンバータ115、116から電気信号を同時に取得し前述した光強度比を計算する機能を有するものである。また、制御部117は、後述するように、例えば時刻tから時刻（ $t + \Delta t$ ）までに求めた光強度比から、光ファイバ103の軸方向の位置に対する温度を求める機能も有する。

【0033】

=== 原子炉出力分布測定方法 ===

10

20

30

40

50

図3を参照しつつ、前述した構成を備える原子炉出力分布測定システム10による原子炉出力分布測定方法について説明する。同図は、本実施の形態の温度測定装置110及びプロセス制御用コンピュータ500の動作手順を示すフローチャートである。尚、以下、この温度測定装置110及びプロセス制御用コンピュータ500を出力分布測定部と総称して説明する。

【0034】

まず、出力分布測定部は、2つの光源112a、112bからパルス光を同時に発生させる(S100)。具体的には、プロセス制御用コンピュータ500が、温度測定装置110の制御部117に対して、2つの光源112a、112bからパルス光を同時に発生させる旨の信号を送信する。

10

【0035】

2つのパルス光は、光分波器111を通して光ファイバ103の一端部にともに入射される。光ファイバ103を構成する媒質中のパルス光は、当該光ファイバ103の軸方向の各位置の媒質においてラマン散乱を発生させつつ他端部に向かって伝播する。ここで、「軸方向の各位置」とは、例えば光ファイバ103の所定領域(例えば、図2における領域A又は領域B)にける軸方向の中心位置を意味する。

【0036】

光ファイバ103の例えば領域A(図2)の媒質中におけるラマン散乱により発生したストークス光及びアンチストークス光(後方散乱光)は、当該領域Aの温度を反映する光強度比RAをもって、光ファイバ103の一端部へ向かうとされている。温度測定装置110が、パルス光を入射してから、領域Aで発生したストークス光及びアンチストークス光を受光するまでの時間は $2 \cdot LA / c$ で表わされる。ここで、「LA」は温度測定装置110と光ファイバ103の領域Aとの間の距離であり、「c」は光速である。同様に、温度測定装置110が、パルス光を入射してから、例えば領域B(図2)で発生したストークス光及びアンチストークス光を受光するまでの時間は $2 \cdot LB / c$ で表わされる。以上から、温度測定装置110は、前述したステップ100から時間 $(2 \cdot LB / c)$ だけ経過すると、領域Bの温度に相当する光強度比RBを取得し、前述したステップ100から時間 $(2 \cdot LA / c)$ だけ経過すると、領域Aの温度に相当する光強度比RBを取得することになる。

20

【0037】

前述した原理に基づいて、出力分布測定部は、一般に時刻tから時刻 $(t + \Delta t)$ までの間に光強度比Rを取得する(S101)。具体的には、温度測定装置110の制御部117がこのステップS101の動作を実行する。尚、時刻tは前述したステップS100からの経過時間と等価であり、時間刻み Δt は例えば制御部117の備える所定のクロックに基づいて決まるものである。

30

【0038】

次に、出力分布測定部は、前述したステップS101で取得した時刻tを、位置(温度測定装置110を起点とする光ファイバ103の軸方向の距離、即ち $c \cdot t / 2$)に換算し、光強度比Rを、所定の演算式に基づいて温度に換算して、メモリ(不図示)に記憶させる(S102)。具体的には、温度測定装置110の制御部117がこのステップS102の動作を実行する。

40

【0039】

次に、出力分布測定部は、前述したステップS101で取得した時刻tが、所定の時刻t(MAX)に達しているか否かを判別し(S103)、もし達していなければ(S103:YES)、時刻 $(t + \Delta t)$ から時刻 $(t + 2 \cdot \Delta t)$ までの間に光強度比Rを取得する動作を再度実行する(S104及びS101)。

【0040】

以上、前述したステップS101乃至S104の動作を繰り返すことにより、光ファイバ103の全ての位置における温度が、前述したメモリ(不図示)に記憶されることになる。具体的には、温度測定装置110の制御部117がこのステップS101乃至S104

50

4の動作を繰り返し実行する。尚、前述した所定の演算式は、例えば前述したメモリ（不図示）に記憶されていてもよい。また、前述した t （MAX）とは、前述したステップS100で生成した1つのパルス光についてそのラマン散乱光を受光する最大時間であり、これは例えば前述したメモリ（不図示）に記憶されていてもよい。

【0041】

もし前述したステップS101で取得した時刻 t が、前述した所定の時刻 t （MAX）に達していれば（S103：NO）、出力分布測定部は、前述したメモリ（不図示）に記憶された温度分布を温度分布データ501aとして分布データベース501に記憶させる（S105）。具体的には、プロセス制御用コンピュータ500がこのステップS105の動作を実行する。

10

【0042】

尚、プロセス制御用コンピュータ500が複数の温度測定装置110、210を統括制御している場合には、温度分布データ501aは、該当の複数の光ファイバ103、203毎の温度分布を示すものとなる（図4（a）参照）。図4（a）は、本実施の形態の温度分布データ501aの構成例を示す図表である。同図によれば、温度分布データ501aは、炉心2の内部における、水平面（図1のXY面）内に例えば均等に配置された複数の光ファイバ毎の、上下方向（図1のZ軸方向）の各位置（A、B、C、D等）の温度から構成されるものである。

【0043】

次に、出力分布測定部は、分布データベース501から温度分布データ501aを読み出し、所定の演算式に基づいて、温度を炉心2の内部における熱出力に換算して出力分布データ501bとして分布データベース501に記憶させる（S106）。具体的には、プロセス制御用コンピュータ500がこのステップS106の動作を実行する。尚、前述した所定の演算式は、例えば前述したメモリ（不図示）に記憶されていてもよい。

20

【0044】

次に、出力分布測定部は、分布データベース501から出力分布データ501bを読み出し、例えば、各燃料集合体（図4（b）の「燃料集合体P」、「燃料集合体Q」）の近傍に配置された光ファイバについて、炉心軸方向（図1のZ軸方向）の位置A、B、C、D等に該当する熱出力の値（図4（b）の「炉出力（%）」）をグラフにしてディスプレイ502に表示する。図4（b）は、本実施の形態のディスプレイ502における出力分布データ501bの表示例を示す模式図である。ここで、1つの燃料集合体の近傍に複数の光ファイバが配置されている場合、位置（A、B、C、D等）毎に、これらの複数の光ファイバに該当する熱出力の値を合算し、これをグラフにしてディスプレイ502に表示してもよい。例えば原子炉の運転員は、このディスプレイ502を参照することにより、効率的な炉心管理ができる。

30

【0045】

次に、出力分布測定部は、前述した時刻 t をゼロにリセットして（S108）、ディスプレイ502に表示された出力分布（図4（b））を更新すべく、前述したステップS100の動作を再度実行する。具体的には、プロセス制御用コンピュータ500がこのステップS108及びS100の動作を実行する。

40

【0046】

本実施の形態の原子炉出力分布測定システム10では、炉心2の内部の上下方向の複数の位置のそれぞれに設けられた発熱体（例えば、発熱体101a、101b、101c、101d）の温度を、1本の光ファイバ103内のラマン散乱光に基づいて測定している。よって、出力分布の測定に例えば従来の複数の中性子検出器等は必要なくなる。また、前述したように、原子炉压力容器1の内部の占有スペースを抑制できる上に、原子炉压力容器1に対する光ファイバ103、203の設置及び取り外しの作業も容易である。更に、光ファイバ103、203は連続体であるためそれ自体の校正等を必要とせず、ラマン散乱光の測定に常時使用できるし、発熱体101、201も常時使用できる。よって、炉心2の内部の出力分布が常時測定可能となる。以上から、本実施の形態の原子炉出力分布

50

測定システム 10 は、簡単且つ交換が容易な構成を有する常時測定用のシステムと言える。

【0047】

前述した実施の形態は、本発明の理解を容易にするためのものであり、本発明を限定して解釈するためのものではない。本発明は、その趣旨を逸脱することなく変更、改良されるとともに、本発明にはその等価物も含まれる。

【図面の簡単な説明】

【0048】

【図1】本実施の形態の原子炉出力分布測定システム及びその周辺部分の構成例を示す模式図である。

10

【図2】本実施の形態の温度測定装置の構成例を示すブロック図である。

【図3】本実施の形態の温度測定装置及びプロセス制御用コンピュータの動作手順を示すフローチャートである。

【図4】(a)は、本実施の形態の温度分布データの構成例を示す図表であり、(b)は、本実施の形態のディスプレイにおける出力分布データの表示例を示す模式図である。

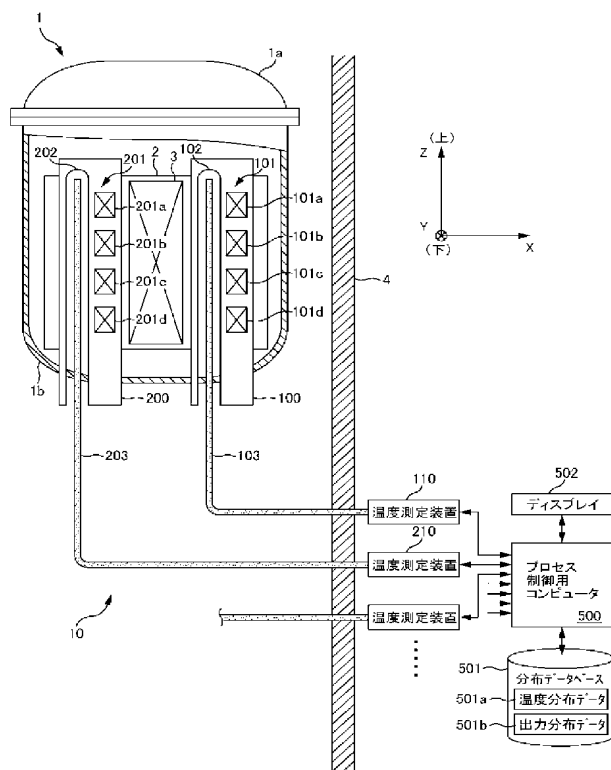
【符号の説明】

【0049】

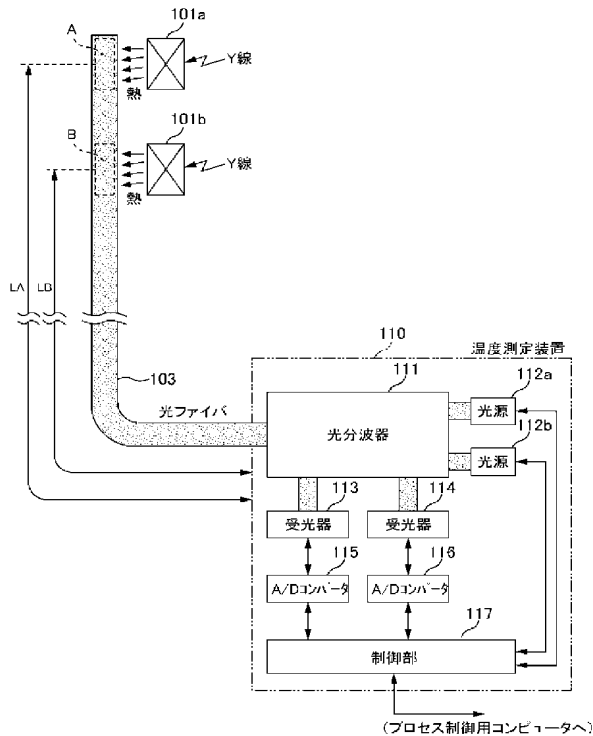
1 原子炉圧力容器	1 a 上部
1 b 下部	2 炉心
3 燃料集合体	4 原子炉格納容器
10 原子炉出力分布測定システム	100、200 スtringス
101、201 発熱体	102、202 管部
103、203 光ファイバ	110、210 温度測定装置
111 光分波器	112 a、112 b 光源
113、114 受光器	115、116 A/Dコンバータ
117 制御部	500 プロセス制御用コンピュータ
501 分布データベース	501 a 温度分布データ
501 b 出力分布データ	502 ディスプレイ

20

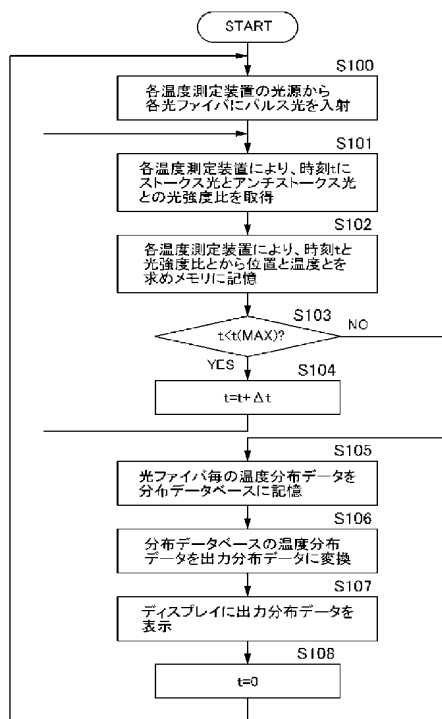
【図 1】



【図 2】



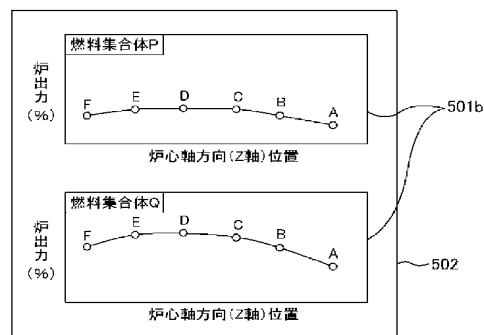
【図 3】



【図 4】

	温度 (K)				
	A	B	C	D	...
光ファイバ103	○	○	△	○	×
光ファイバ203	○	△	△	△	×
光ファイバ303	□	○	△	○	□
...
...
...

(a)



(b)